



Mathematica计算高次谐波

答 辩 人: 李玉轩

指 导 教 师: 王国利 教授

西北师范大学 物理与电子工程学院

2018年2月15日



Contents I

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

- ① 摘 要
- ② Abstract
- ③ 前 言
- ④ 第一章 高次谐波的计算
 - 1.1 软件介绍
 - 1.2 计算结果
- ⑤ 第二章 在高次谐波产生中自旋角动量和可调谐极化
 - 2.1 圆形场的HHG中的自旋守恒
 - 2.2 子通道分裂
- ⑥ 总结和展望
- ⑦ 参考文献
- ⑧ 致 谢



摘要

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

摘 要

论文摘要关键词: 高次谐波; 强场近似; Mathematica软件



Abstract I

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

mathematica calculates higher harmonics of
Abstract

本论文英文摘要



摘要

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

主要包括:

第一、二章 介绍了高次谐波的历史及其基本概念.



摘要

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

主要包括:

第一、二章 介绍了高次谐波的历史及其基本概念.

第三章 介绍了强场近似理论.



摘要

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

主要内容包括:

第一、二章 介绍了高次谐波的历史及其基本概念.

第三章 介绍了强场近似理论.

第四、五章 利用软件通过强场近似计算了高次谐波.



摘要

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

主要包括:

第一、二章 介绍了高次谐波的历史及其基本概念.

第三章 介绍了强场近似理论.

第四、五章 利用软件通过强场近似计算了高次谐波.

第六、七章 通过数值模拟方法, 验证了椭圆激光场产生高次谐波中自旋角动量守恒的性质.



摘要

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

主要包括:

第一、二章 介绍了高次谐波的历史及其基本概念.

第三章 介绍了强场近似理论.

第四、五章 利用软件通过强场近似计算了高次谐波.

第六、七章 通过数值模拟方法, 验证了椭圆激光场产生高次谐波中自旋角动量守恒的性质.



前言 I

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

当强激光与原子或分子等物质发生相互作用时, 由于高阶非线性极化而产生相干辐射波, 且辐射波频率是入射激光频率的整数倍, 这种光波发射我们称之为高次谐波产生(High order harmonic generation, HHG)。典型的高次谐波发射谱会呈现出如下规律:在低阶次区域, 高次谐波强度迅速下降, 紧接着出现了强度几乎保持不变的平台结构, 最后在 i -一阶次处谐波的强度急剧的下降, 出现截止。由于高次谐波光谱覆盖范围非常广, 发射效率又很相近, 频率间隔一致, 而且具有辐射波持续时间较短, 波长可调等特点, 很快就成为人们实现阿秒脉冲的有效途径。



Part 1 高次谐波的计算

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

1.1 软件介绍

1.2 计算结果

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

Part 1 高次谐波的计算



Part 1 高次谐波的计算

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

1.1 软件介绍

1.2 计算结果

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

1.1 软件介绍

Mathematica 是一款科学计算软件，很好地结合了数值和符号计算引擎、图形系统、编程语言、文本系统、和与其他应用程序的高级连接。很多功能在相应领域内处于世界领先地位，它也是使用最广泛的数学软件之一。Mathematica 的发布标志着现代科技计算的开始。Mathematica 是世界上通用计算系统中最强大的系统。自从1988 发布以来，它已经对如何在科技和其它领域运用计算机产生了深刻的影响。



1.1 软件介绍

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

1.1 软件介绍

1.2 计算结果

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

本论文通过强场近似的方法来研究氢原子在强场中产生高次谐波的现象，通过Mathematica 软件编写程序包(RB-SFA) 来求解强场近似中相关方程。本程序由Emilio Pisanty 编写开发，是一种紧凑和灵活的Mathematica 软件程序包，通过强场近似的方法来计算高次谐波。它结合了Mathematica 的分析集成能力与其数值计算能力，为计算谐波谱和其他属性提供了一个快速友好的交互式操作。此外，它可以计算一阶非线性修正强场近似结果，以确定驱动激光器的磁场对谐波光谱的影响。



1.2 计算结果

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

1.1 软件介绍

1.2 计算结果

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

1.2 计算结果



1.2 计算结果

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘要

Abstract

前言

第一章

1.1 软件介绍

1.2 计算结果

第二章

总结和展望

参考文献

致谢

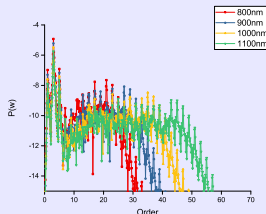


图 1: 谐波截止位置随波长的变化

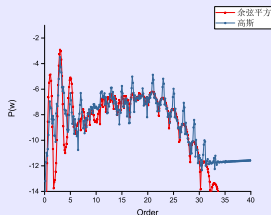


图 3: 谐波截止位置随包络形式的变化

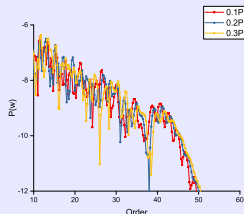


图 2: 谐波截止位置随激光场初相位的变化

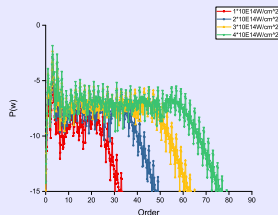


图 4: 谐波截止位置随场强的变化



1.2 计算结果

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

1.1 软件介绍

1.2 计算结果

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

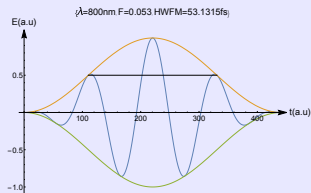


图 5: 余弦平方包络

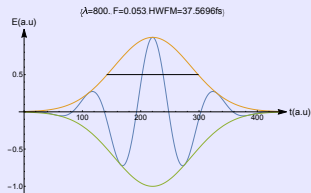


图 6: 高斯包络



Part 2 在HHG中自旋角动量和可调谐极化

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

2.1 圆形场的HHG中
的自旋守恒

2.2 子通量分裂

总结和展望

参考文献

致 谢

Part 2 在HHG中自旋角动量和可调谐极化



Part 2 在HHG中自旋角动量和可调谐极化

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

2.1 圆形场的HHG中
的自旋守恒

2.2 子通量分裂

总结和展望

参考文献

致 谢

2.1 圆形场的HHG中的自旋守恒



李玉轩

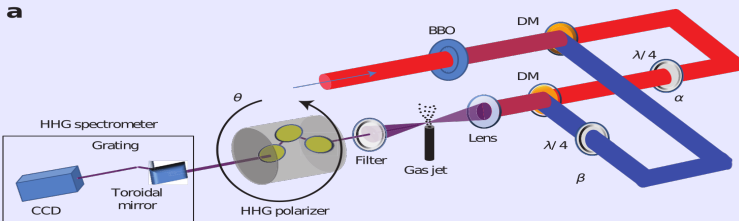


图 7: 实验设置及结果



2.1 圆形场的HHG中的自旋守恒

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

2.1 圆形场的HHG中
的自旋守恒

2.2 子通量分裂

总结和展望

参考文献

致 谢

Model 1

$$\mathbf{E} = \frac{E_0 e^{i\omega t}}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1+\epsilon}{\sqrt{1+\epsilon^2}} \hat{\mathbf{e}}_R + \frac{1-\epsilon}{\sqrt{1+\epsilon^2}} \hat{\mathbf{e}}_L \right) \quad (1)$$

$$\Omega_{(n_1, n_2)} = n_1 \omega + n_2 r \omega \quad (2)$$

$$\langle \hat{\sigma} \rangle = \frac{2\epsilon}{1+\epsilon^2}^* \quad (3)$$

$$\langle \sigma_{(n_1, n_2)} \rangle = n_1 \langle \sigma_1 \rangle + n_2 \langle \sigma_2 \rangle + \delta_{(n_1, n_2)} \quad (4)$$

$$^* \langle \hat{\sigma} \rangle = \sin(2\alpha), \epsilon = \tan(\alpha)$$



2.1 圆形场的HHG中的自旋守恒

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

2.1 圆形场的HHG中的
自旋守恒

2.2 子通道分裂

总结和展望

参考文献

致 谢

Model 2

$$\mathbf{E} = \frac{E_0 e^{i\omega t}}{2} (\cos(\delta\alpha) \hat{\mathbf{e}}_R + \sin(\delta\alpha) \hat{\mathbf{e}}_L) + c.c^\dagger \quad (5)$$

$$\Omega_{(n_+, n_-; n_2)} = (n_+ + n_-)\omega + n_2 r\omega \quad (6)$$

$$\sigma_{(n_+, n_-; n_2)} = n_+ \sigma_+ + n_- \sigma_- + n_2 \sigma_2^\dagger \quad (7)$$

$$^\dagger \delta\alpha = \alpha - \pi/4, \epsilon = \tan(\alpha)$$

$$^\dagger \sigma_+ = +1, \sigma_- = \sigma_2 = -1$$



2.1 圆形场的HHG中的自旋守恒

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘要

Abstract

前言

第一章

第二章

2.1 圆形场的HHG中的
自旋守恒

2.2 子通量分裂

总结和展望

参考文献

致谢

模拟结果

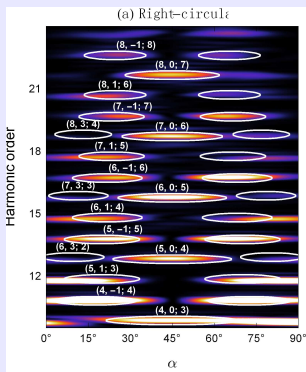


图 9: 右旋圆极化

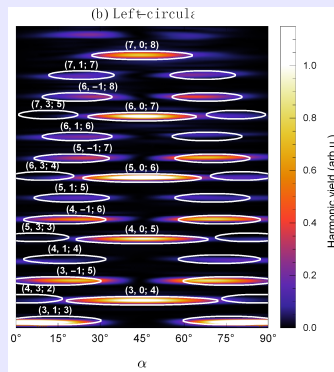


图 10: 左旋圆极化



Part 2 在HHG中自旋角动量和可调谐极化

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

2.1 圆形场的HHG中
的自旋守恒

2.2 子通道分裂

总结和展望

参考文献

致 谢

2.2 子通道分裂



2.2 子通道分裂

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

2.1 圆形场的HHG中的
自旋守恒

2.2 子通道分裂

总结和展望

参考文献

致 谢

Model 3

$$\mathbf{E} = \frac{E_0}{2} (\cos(\delta\alpha) e^{-i\omega t} \hat{\mathbf{e}}_R + \sin(\delta\alpha) e^{-i\omega' t} \hat{\mathbf{e}}_L) \quad (8)$$

$$\Omega_{(n_+, n_-; n_2)} = n_+ \omega + n_- \omega' + n_2 r \omega \quad (9)$$



2.2 子通道分裂

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

2.1 圆形势的HHG中的
自旋守恒

2.2 子通道分裂

总结和展望

参考文献

致 谢

模拟结果

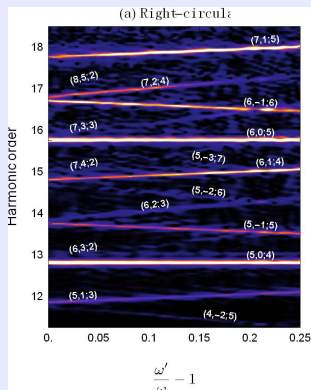


图 11: 右旋圆极化

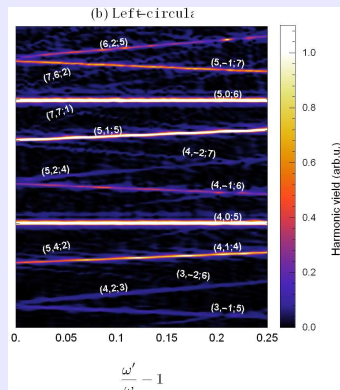


图 12: 左旋圆极化



总结和展望

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢



参考文献 I

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

- [1] Pisanty. Emilio. Spin conservation in high-order-harmonic generation using bicircular fields. *Phys. Rev. A*.90(4),2014.
- [2] Avner Fleischer. Spin angular momentum and tunable polarization in high-harmonic generation, *Nature Photon*.8(7), 2014.



致 谢

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

感谢老师，感谢同学



致 谢

Mathematica计
算高次谐波

李玉轩

Contents

摘 要

Abstract

前 言

第一章

第二章

总结和展望

参考文献

致 谢

谢 谢 !